

Auf solchen flexiblen Mikroelektroniken findet eine Vielzahl der winzigen Batterien Platz.

## Winzige Energiequelle

Origami-Techniken reduzieren On-Chip-Mikrobatterien auf Submillimeter-Größe.

Das Internet der Dinge erfordert winzige Computer und Energiequellen. Während sich Mikrocontroller oder -prozessoren mit Querschnitten von weniger als einem Quadratmillimeter und Höhen von wenigen 100  $\mu\text{m}$  einfach herstellen lassen, fällt dies bei den Energiequellen deutlich schwerer. Ein Energieernter als naheliegende Lösung funktioniert im Innern von Organismen nicht. Dann bleibt eine Batterie der einzig sinnvolle Ansatz.

Heutige On-Chip-Mikrobatterien werden wie etablierte Knopfzellen nasschemisch hergestellt und erreichen gute Energie- und Leistungsdichten – aber sie sind viel zu groß. Ein gemeinsames Team der TU Chemnitz, des IFW Dresden und der Chinesischen Akademie der Wissenschaften, Changchun, hat nun gezeigt, dass ein Mikro-Origami-Verfahren bei der Herstellung von submillimeter-kleinen Mikrobatterien anwendbar ist.<sup>1)</sup>

Das Team baut auf das Herstellungsprinzip zylindrischer Batterien mit makroskopischen Dimensionen auf: eine mehrlagige Struktur, aufgewickelt wie eine Biskuitrolle. Um im Mikrobereich aufzuwickeln, verhindert zunächst eine Opferschicht ein Aufrollen, bis die gewünschten mehrlagigen zweidimensionalen Nanostrukturen vorliegen. Nach dem Entfernen der Opferschicht rollt sich der Schichtstapel zusammen.

Die vorliegenden Demonstratoren haben eine Zink-Anode, eine Silber-

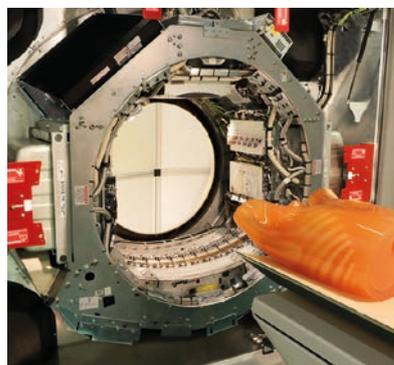
Kathode und einen alkalischen Elektrolyten. Die aufgerollten Schichten waren zwischen 0,4 und 0,8 mm lang; ihre Kapazität stieg linear mit der Schichtlänge und erreichte maximal 0,22 mAh/cm<sup>2</sup> bei einer Stromdichte von 5 mA/cm<sup>2</sup>. Die Entladungskapazität betrug nur 0,2 mAh/cm<sup>2</sup> bei hohen 7 mA/cm<sup>2</sup>.

Mögliche Anwendungen liegen in Sensorik und Aktorik für miniaturisierte medizinische Implantate, in der Mikrorobotik oder für ultra-flexible Elektronik.

## Bessere CT-Bilder

Das 3D-Dunkelfeldröntgen wird am Menschen möglich.

Die Röntgen-Computertomografie (CT) ist eines der am häufigsten genutzten diagnostischen 3D-Bildgebungsverfahren. Meist messen die Geräte in Absorption. Das Dunkelfeldröntgen, das die Streuung der Röntgenstrahlung misst, könnte zusätzliche Informationen über Mikrostrukturen liefern, die heutige Geräte nicht auflösen, zum Beispiel bei der Diagnose von Lungenkrankheiten. Die Erweiterung auf 3D-Bildgebung in einem Röntgen-CT, mit dem sich Menschen untersuchen lassen, erweist sich als schwierig aufgrund des großen Bildfelds, das ein menschlicher Torso beansprucht, und der schnell rotierenden Scan-Einheit, die Vibrationen ins System einträgt. Dennoch ist es einem Team der TU München gelungen, Dunkelfeldrönt-



In der Scan-Einheit des Tomografen befindet sich unten das größte der drei mikrostrukturierten Gitter. Die beiden anderen stecken oben im Kollimatorgehäuse.

gen in einen Computertomografen zu integrieren, der auf den Einsatz am Menschen ausgelegt ist.<sup>2)</sup> Beteiligt waren auch das Karlsruher Institut für Technologie und Philips.

Um das gestreute Röntgenlicht zu detektieren, braucht es mikrostrukturierte Gitter, die sich zwischen Röntgenquelle und Detektor befinden. So entsteht ein charakteristisches Muster auf dem Detektor, das sich verändert, wenn ein Mensch im Strahlengang liegt. Diese Veränderungen erlauben Rückschlüsse auf die Struktur des untersuchten Gewebes.

Für das Dunkelfeldröntgen kommt ein Talbot-Lau-Interferometer mit drei Gittern zum Einsatz: Zwei befinden sich nahe der Röntgenquelle, das dritte – und größte – unmittelbar vor dem Detektor. Der neu entwickelte Algorithmus für die Akquise und Rekonstruktion der Daten kompensiert die unvermeidlichen Vibrationen des schnell rotierenden Scanners.

Testmessungen mit einem Phantom des menschlichen Thorax bestätigen den Ansatz. Von der Erfassung der Daten bis zu den fertig rekonstruierten Bildern vergehen weniger als 15 Minuten, wobei der eigentliche Scan nur eine Sekunde dauert. Der nächste Schritt sind Patientenstudien.

## Handlicher Atemanalysator

Ein plasmonisch-spektroskopischer Sensor erkennt Covid-19 schnell und so zuverlässig wie ein PCR-Test.

Verlässliche und rasche Massen-Screenings könnten das Leben in der Pandemie vereinfachen. Entscheidend ist es dabei, auch asymptomatische Fälle zu erkennen, die ebenfalls zur Verbreitung von Covid-19 beitragen. Ein Team der Nanyang Technological University in Singapur hat nun den Prototyp eines Atemanalysators vorgestellt, der vor Ort innerhalb von Minuten Ergebnisse liefert. Bei Tests mit 500 Freiwilligen erreichte er mehr als 95 Prozent Sensitivität und Spezifität – unabhängig davon, ob Symptome vorlagen oder nicht.<sup>3)</sup> Diese Ergebnisse sind mit dem PCR-Test vergleichbar und gleichzeitig schneller verfügbar.



Ein Atemanalysator erkennt zuverlässig corona-positive Menschen innerhalb von fünf Minuten.

Der Sensor erfasst die typischen flüchtigen organischen Stoffe, die Erkrankte ausatmen: Ketone, Alkohole und Aldehyde. Er nutzt dazu Silber-Nanowürfel, deren Oberflächen mit molekularen Rezeptoren funktionalisiert wurden. An diese binden die verdächtigen Substanzen. Die Sensorik ist in ein Gehäuse integriert, in das eine zu testende Person für einige Sekunden blasen muss. Der Nachweis erfolgt mit einem portablen Spektrometer mittels oberflächenverstärkter Raman-Spektroskopie (SERS). Sie nutzt plasmonische Effekte aus und erzeugt im Gegensatz zur klassischen Raman-Spektroskopie deutlich stärkere Signale. Die Probenahme und Auswertung dauern lediglich fünf Minuten.

## Schneller Schwerkraftsensor

Ein differenziell messendes Atom-Interferometer erlaubt schnelle metergenaue Messungen.

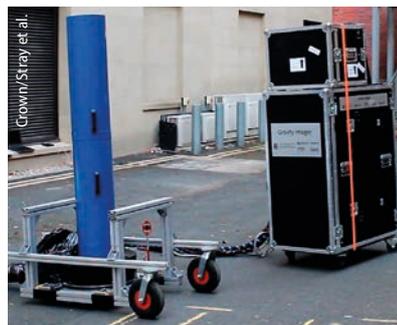
Geologische Untersuchungen benötigen regelmäßig elektromechanische Gravimeter, die zum Beispiel die Verteilung von Grundwasser oder von unterirdischen Gesteinsformationen untersuchen. Die räumliche Auflösung ist dabei begrenzt: Metergroße Strukturen lassen sich wegen des seismischen Rauschens nur mit extrem langen Messzeiten nachweisen. Ein Team der Universität Birmingham

hat nun einen Quantensensor entwickelt, der Schwerkraftgradienten misst, also differentiell.<sup>4)</sup> Der Ansatz unterdrückt die Auswirkungen von mikroseismischem Rauschen, Laser-rauschen sowie von thermischen und Magnetfeldschwankungen. Beteiligt waren die britischen Firmen RSK und Teledyne e2v sowie das Defence Science and Technology Laboratory (Dstl).

Solche Quantensensoren beruhen auf der Atom-Interferometrie, die bereits in Laborexperimenten fundamentale physikalische Messungen ermöglicht hat. Dabei lösen Lichtpulse in Atomen zwei-photonen-stimulierte Raman-Übergänge aus, die Materiewellen mit unterschiedlichen Impuls- und Energiezuständen einander überlagern. Die beiden Wellenpakete bewegen sich entlang getrennter Bahnen, bevor sie wieder miteinander interferieren – ein Materie-Wellen-Analogon zum Mach-Zehnder-Interferometer. Das Forschungsteam nutzt bei seinem Sensor zwei vertikal voneinander getrennte Atomwolken aus Rubidium in magneto-optischen Fallen. Die Atome fallen im Gravitationsfeld und sind beide einer Sequenz von Interferometrien ausgesetzt.

Die statistische Unsicherheit liegt bei  $10^{-9} \text{ s}^{-2}$ , was um einen Faktor 1,5 bis 4 schnellere Messungen erlaubt als kommerziell erhältliche Gravimeter. Ein bekannter Untergrund ließ sich mit einer räumlichen Auflösung von 0,5 Meter entlang einer 8,5 Meter langen Strecke vermessen. Ein unterirdisch verlaufender zwei Meter breiter Gang erzeugte ein Signal-zu-Rausch-Verhältnis von 8.

Michael Vogel



Der Sensorkopf (links) wiegt 75 kg, das Laser- und Steuerungssystem auf dem separaten Rollwagen etwa 250 kg.

# quantum approved.



## Laser Rack Systems

Quantum Technology meets Industry Standards

Our lasers do not need an optical table! The T-RACK is the perfect home for TOPTICA's high-end tunable diode lasers and frequency combs in a modular 19" form factor. Pick yours!

- Tunable Diode Laser Systems
- Frequency Comb Systems
- Wavelength Meters
- Locking Electronics
- 330 .. 1770 nm



 **TOPTICA**

[www.toptica.com/T-RACK](http://www.toptica.com/T-RACK)

1) Y. Li et al., Adv. Energy Mater. 2103641 (2022)

2) M. Viermetz et al., PNAS 119, e2118799119 (2022)

3) S. X. Leong et al., ACS Nano 16, 2629 (2022)

4) B. Stray et al., Nature 602, 590 (2022)